

промышленной атмосфере Мариупольского КХЗ и других коксохим-заводов показали высокую защитную способность покрытий на основе лакокрасочного материала “Эпокси”.

- 1.Лившиц М. Л. и др. Лакокрасочные материалы. – М.: Химия, 1992. – 214 с.
- 2.Авторское свидетельство СССР № 1004424, кл. C08L63/02, 1980.
- 3.Авторское свидетельство СССР № 732339, кл. C09Д 5/08, 1977.
- 4.Джелали В.В. Система регистрации электродного импеданса в диапазоне  $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^5$  Гц и его анализ в электрохимическом и коррозионном эксперименте // Углед-химический журнал. – 2000. – № 3-4. – С.41-51.
- 5.Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыскин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. – Л.: Химия, 1982. – 240 с.
- 6.Патент №18610 Украина, МКИ В23 К 35/365 Склад покрытия / Нестеренко С.В., Шешнева И.А., Непомнящая А.С., Лейба В.С., Чалая В.П. та ін. (Украина); №94322353; Опубл. 25.12.97, Бюл. №7. – 6 с.

Получено 02.10.2007

УДК 534.2 : 658.01

Л.М.ШУТЕНКО, д-р техн. наук, Я.О.СЕРІКОВ, канд. техн. наук  
*Харківська національна академія міського господарства*

## **ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ ВІДБИТТЯ ТА НАСКРІЗНОГО ПРОХОДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ ПРИ КОНТРОЛІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТМАС І БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

Наводяться основні положення щодо застосування ультразвукових методів, які засновані на відбитті та наскрізному проходженні пружних хвиль при використанні їх для контролю якості пластмас, неметалевих та багатошарових матеріалів. Наведено структурні схеми методів контролю, особливості, які повинні враховуватись при дослідженні фізико-механічних властивостей таких матеріалів.

Інтенсифікація розвитку будівельної галузі в Україні включає в себе як збільшення обсягів капітального будівництва, так і розширення робіт з реконструкції, ремонту та відновлення експлуатованих будівельних об'єктів. Одночасно з таким процесом спостерігається введення нових технологій та використання сучасних будівельних матеріалів. Таке положення викликає необхідність подальшого розвитку, удосконалення неруйнівних методів контролю якості матеріалів, виявлення та конкретизації їх особливостей використання в конкретному випадку, зокрема при виконанні робіт з обстеження існуючих будівельних об'єктів, що призначені для реконструкції чи ремонту. Таке завдання є актуальним не тільки для будівельної галузі України, а й для високо-розвинених зарубіжних країн [1-6].

Основними методами, які використовують для контролю фізико-механічних властивостей пластмас, неметалевих і багатошарових матеріалів, є ехо-метод, високочастотний, тінювий і ревербераційний методи [7, 8].

Ехо-метод у його традиційному вигляді, з використанням частоти модуляції зондувального сигналу  $f_m > 0,5$  МГц, як правило, застосовують для контролю гомогенних ізотропних матеріалів типу скла, щільної кераміки, пластмас. Для забезпечення надійного контролю якості матеріалів з підвищеним коефіцієнтом загасання ультразвукових коливань необхідне зниження частоти модуляції до величин  $f_m \leq 0,1$  МГц. При цьому відбувається збільшення довжини хвилі і тому для підвищення вірогідності контролю необхідне вирішення задачі звуження діаграми спрямованості перетворювачів та скорочення тривалості зондувальних імпульсів.

У високочастотному методі останню задачу вирішують використанням взаємодії різних мод коливань у перетворювачі, що виготовляють у формі прямокутної п'єзоелектричної пластини. У низькочастотному перетворювачі цей ефект досягають використанням взаємодії коливань прямокутної п'єзопластини за її довжиною і шириною. З цією метою власні частоти коливань за цими напрямками роблять кратними один одному [8].

Звуження діаграми спрямованості випромінюючого перетворювача досягається застосуванням мозаїчних перетворювачів. Конструктивно такі перетворювачі являють собою декілька невеликих п'єзоелементів, розташованих, наприклад, у лінію, у вигляді прямокутника чи по окружності [8].

При контролі якості неметалевих і багатошарових матеріалів тінювий метод використовують у варіанті виміру амплітуди інформаційного сигналу чи часового відрізка. Перевагою цього методу, при використанні низьких частот модуляції зондувального сигналу, є відсутність мертвої зони і слабкий вплив на параметри інформаційного сигналу структурних неоднорідностей матеріалу.

Основними областями застосування тінювого методу є контроль розшарування багатошарових конструкцій з металів і неметалів типу стеклотекстолітових панелей, тришарових панелей з легким заповнювачем і т. п. При проведенні контролю фіксують не тільки амплітуду та час приходу інформаційного сигналу, але й початкову фазу наскрізного сигналу. У дефектному виробі, у зв'язку з дифракцією пружної хвилі на краю дефекту, змінюється фаза цього сигналу й у результаті цього перший напівперіод коливань змінює полярність на протилежну [8].

При контролі якості пластмас, неметалевих та багат шарових матеріалів поряд з безпосереднім чи іммерсійним способами акустичного контакту між досліджуваним матеріалом та п'єзоелектричним перетворювачем застосовують метод безконтактного введення пружних хвиль. Хвильовий опір матеріалів типу пластмас на порядок менше, ніж металів. У зв'язку з цим коефіцієнт прозорості ультразвукових коливань на границі двох середовищ «повітря – матеріал об'єкта контролю» збільшується в 10-100 разів у порівнянні з тим, що спостерігається при контролі металів. Це дозволяє забезпечити достатній рівень як зондувального, так і інформаційного сигналів.

Контроль якості виробів тіншовим методом виконують, як правило, на спеціальних установках. На рис.1 як приклад показана схема ультразвукової установки для контролю якості торовидних пластмасових конструкційних елементів. Такий елемент 1 частково занурюють у ванну 2 з рідиною 3. П'єзоелектричний випромінювач 4 з циліндричною діаграмою спрямованості занурюють у рідину і розміщують у центрі порожнини конструкційного елементу 1. Серію дискретних п'єзоелектричних приймачів 5 розташовують у рідині по окружності зовні конструкційного елементу. Зондувальні сигнали вводять у матеріал іммерсійним способом. Вони від випромінювача 4 проходять через досліджуваний матеріал і надходять у вигляді інформаційних сигналів на кожний з дискретних п'єзоелектричних приймачів 5. Сигнали від них через підсилювачі подають на реєстратор. При проведенні контролю якості матеріалу такого торовидного конструкційного елементу його обертають навколо осі «А – А».

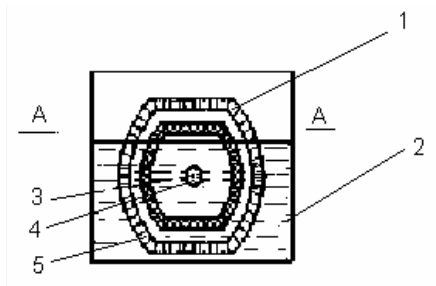


Рис.1 – Установка для ультразвукового контролю якості торовидних конструкційних елементів тіншовим методом:

1 – об'єкт контролю; 2 – ванна з рідиною; 3, 4 – п'єзоелектричний випромінювач з циліндричною діаграмою направленості; 5 – п'єзоелектричні дискретні приймачі.

Для дослідження застосовується частота модулювання зондувального сигналу  $f_m = (100...150)$  кГц. Для забезпечення умов змочування матеріалу контрольованого конструкційного елементу в якості іммерсійної рідини використовують воду з добавками спирту. Швидкість

поширення ультразвукових коливань у воді і пластмасі близькі за своїми значеннями, тому переломлення пружних хвиль на границі розділу середовищ «вода – матеріал об'єкту контролю» практично не відбувається.

При контролі якості конструкційних елементів із спеціальними технологічними нерівностями зовнішньої поверхні, в деяких випадках виникає періодична зміна амплітуди наскрізного інформаційного сигналу, пов'язана з різним загасанням ультразвуку в шарах контрольованого матеріалу різної товщини. Для усунення цього явища в імерсійну рідину вводять добавки, що підвищують загасання ультразвуку, наприклад, оцтову кислоту.

Ревербераційний метод чи метод багаторазових відбиттів, як правило, застосовують для контролю якості склейки двошарових матеріалів типу «метал – пластмаса» при товщині шарів  $H_c \geq 1,5$  мм. Контроль якості виконують на частотах  $f = (2 \dots 5)$  МГц.

У цьому випадку використовується два наступних варіанти ревербераційного ехо-методу. У першому варіанті ультразвукові пружні коливання вводять у шар металу (рис.2). При контролі в металевому шарі двошарової конструкції спостерігаються багаторазово відбиті ехо-сигнали, що формуються при відбитті від границі металевому шару і від шару пластмаси.

Дефект з'єднання «метал – пластмаса» (непроклей) збільшує коефіцієнт відбиття ультразвукових коливань на границі розділу двох середовищ: «метал – пластмаса», що призводить до збільшення часу реверберації імпульсу за рахунок його поширення в шарі металу. За часом ревербераційного процесу і роблять висновок про якість з'єднання металу і пластмаси в такому двошаровому матеріалі.

В другому варіанті пружні коливання ультразвукової частоти вводять у шар пластмаси (рис.3). У зоні доброякісного склеювання такого матеріалу ультразвукові коливання переходять із шару пластмаси через клейовий шар у метал. Багаторазово відбиваючись в останньому, пружна хвиля представляється на осцилографічному індикаторі у вигляді серії загасаючих імпульсів, тобто як ревербераційний процес.

При введенні ультразвукових коливань з боку металу ймовірність виявлення дефектів типу «непроклей» зростає при збільшенні коефіцієнта відбиття пружних хвиль від границі розділу середовищ «метал – пластмаса». Для цього повинна бути малою різниця хвильових опорів металевому ( $Z_m$ ) і неметалевому ( $Z_n$ ) шарів двошарового матеріалу.

Наприклад, з високим ступенем надійності виявляються дефекти розміром  $H > 5$  мм типу порушення адгезії клею з металом у з'єднаннях з пластмасою типу склопластик у другому шарі. У цьому випадку

хвильовий опір ( $Z_n$ ) зменшується від величини  $Z_n = (3...4) \cdot 10^6$  Па·с/м, що спостерігається при надійному з'єднанні металу з пластмасою, до  $Z_n = 0$  Па·с/м, що встановлюється з появою дефекту типу «непроклей».

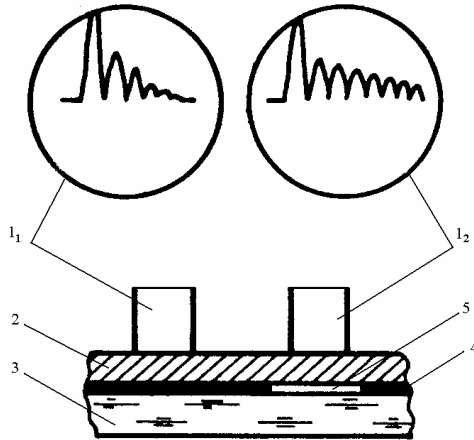


Рис. 2 – Контроль якості двошарових матеріалів «метал – пластмаса» ревербераційним ехо-методом при вводиті пружних хвиль зі сторони шару металу:

1<sub>1</sub> – положення п'єзоелектричного перетворювача та осцилограма при якісному матеріалі; 1<sub>2</sub> – положення п'єзоелектричного перетворювача і осцилограма при дефекті матеріалу типу «непроклей»; 2 – метал двошарового матеріалу; 3 – пластмаса двошарового матеріалу; 4 – клейовий прошарок; 5 – дефект матеріалу типу «непроклей».

У з'єднаннях металу з пінопластом зміна хвильового опору ( $Z_n$ ), у випадку дефекту типу «непроклей», дуже мала, тому що величина хвильового опору ( $Z_n$ ) близька до нуля. Тому виявляються тільки значні зони відсутності адгезії клею до металу, а відсутність адгезії клею до пінопласту знайти не вдається.

Введення пружних хвиль при контролі ревербераційним ехо-методом виконують контактним чи іммерсійним способом на частотах  $f_{узк} = (1...25)$  МГц. Частоту вибирають такою, щоб довжина хвилі зондувального сигналу складала не більше ніж дві товщини ( $H_m$ ) металевго шару двошарового матеріалу:

$$\lambda \leq 2H_m.$$

У зв'язку з таким положенням, при зменшенні товщини металу необхідно підвищувати частоту ( $f_{узк}$ ) ультразвукових коливань, які використовують як зондувальний сигнал.

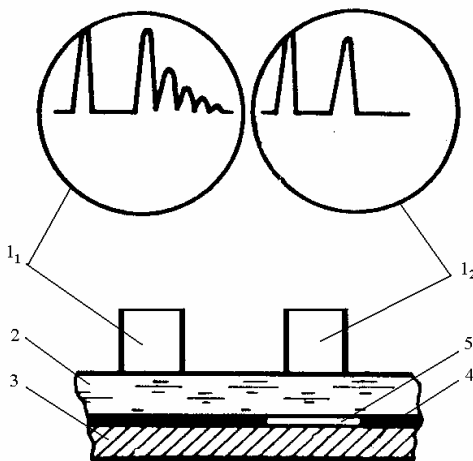


Рис.3 – Контроль якості двошарових матеріалів «метал – пластмаса» ревербераційним ехо-методом при вводиті пружних хвиль зі сторони шару пластмаси:

1<sub>1</sub> – положення п'єзоелектричного перетворювача та осцилограма при якісному матеріалі; 1<sub>2</sub> – положення п'єзоелектричного перетворювача та осцилограма при дефекті матеріалу типу «непроклей»; 2 – пластмаса двошарового матеріалу; 3 – метал двошарового матеріалу; 4 – клейовий прошарок; 5 – дефект матеріалу типа «непроклей».

Викладені принципи та особливості використання ультразвукових методів відбиття і наскрізного проходження пружних хвиль для контролю фізико-механічних властивостей пластмас і багатошарових матеріалів дозволяють підвищити надійність та вірогідність результатів дослідження. Таким чином, завдяки застосуванню описаних ультразвукових неруйнівних методів можна забезпечити необхідну достовірність результатів обстеження, що виконують, наприклад при вирішенні задач реконструкції будівель чи конструкційних елементів, контролі якості матеріалів на етапі їх виготовлення.

Описані результати та висновки можуть бути використані не тільки в будівництві, а й поширені на інші галузі виробництва, наприклад металургію, приладобудівну та інші види промисловості, де застосовують матеріали такого типу. При цьому необхідно виконувати ряд досліджень з метою виявлення особливостей проведення неруйнівного контролю в кожному конкретному випадку для досягнення потрібних точності та достовірності даних виміру.

1.Krohn N., Solodov I., Busse G. Nonlinear vibro-acoustic imaging for non-destructive flaw detection // 16<sup>th</sup> International Symposium on Nonlinear Acoustics "ISNA – 16". – Moscow: Moscow State University, 2002. – P.74.

2. Severin F., O'Neil B. Evidence of the low-frequency nonlinear acoustic spectroscopy technique for characterization of a layered material with adhesive bonding defects // 16<sup>th</sup> International Symposium on Nonlinear Acoustics "ISNA – 16". – Moscow: Moscow State University, 2002. – P.87.

3. Wang L., Rokhlin S. Surface and interface characterization by nonlinear vibrations // 16<sup>th</sup> International Symposium on Nonlinear Acoustics "ISNA – 16". – Moscow: Moscow State University, 2002. – P.73.

4. Study on Ultrasonic Evaluation of Cement Bond Quality in Oil Wells. C. Zhang, W. Jin, H. Liu and H. Zhang, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences // 5<sup>th</sup> World Congress on Ultrasonics Paris, France 7-10 September, 2003.

5. The Simulation of Dispersion Characteristics of Guided-wave in Composite Pipes based on the Inner-Radius-Thickness Ratio. D.-A. Ta, Department of Electronic Engineering, Fudan University, 220 Handan Road, Shanghai, 200433, Shanghai, China // 5<sup>th</sup> World Congress on Ultrasonics Paris, France 7-10 September, 2003.

6. Ultrasonic NDE of Materials Grain Size and Hardness. A. Badidi Bouda, R. Halimi and A. Benchaala, Centre de Recherche en Soudage et Contrôles, Route de Dely Brahim BP 64 Cheraga, 16200, Alger, Algeria // 5<sup>th</sup> World Congress on Ultrasonics Paris, France 7-10 September, 2003.

7. Шутенко Л.Н., Сериков Я.А., Золотов М.С. Применение ультразвуковых методов контроля в производстве строительных материалов и изделий. – Харьков: ХОС, 1991. – 48 с.

8. Шутенко Л.М., Сериков Я.О., Золотов С.М. Дослідження будівельних матеріалів та конструктивних елементів будинків і споруд ультразвуковими методами. – К.: Техніка, 2005. – 210 с.

*Отримано 26.10.2007*

УДК 624.012.35

В.А.ПАНЧЕНКО, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

И.В.ШУМАКОВ, канд. техн. наук

*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

## ОСНАСТКА ДЛЯ ЗАМОНОЛИЧИВАНИЯ СТЫКА КОЛОНН

Разработана опалубка для замоноличивания стыка колонн, позволяющая совершенствовать технологический процесс заполнения полостей соединений бетонной смесью.

Для замоноличивания стыков между колоннами используют различные опалубки, среди которых наиболее распространенной является металлическая, состоящая из двух Г-образных частей с карманами [1-3]. Однако, как показывает опыт, она имеет ряд недостатков:

- дополнительные трудозатраты на скалывание бетона после снятия опалубки, что ведет к нарушению структуры бетона;
- при уплотнении бетонной смеси в стыке частичное вытекание цементного молока через зазоры в местах контакта щитов опалубки с